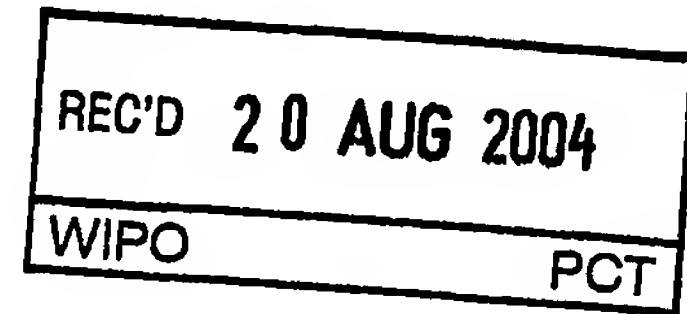


10.08.2004



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 27 954.7

**Anmeldetag:** 20. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:** Dr. Carl Ludwig Wilkening,  
30559 Hannover/DE und  
Dipl.-Ing. Ludz Wilkening,  
29351 Eldingen/DE.

**Bezeichnung:** Verbesserte Verfahren zur Herstellung von  
Ethanol aus Biomasse

**IPC:** C 12 P, A 23 K

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 08. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Schäfer

Verbesserte Verfahren zur Herstellung von



Ethanol aus Biomasse

Die vorliegende Erfindung betrifft verbesserte Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse, wobei die Verfahren Schritte umfassen, bei denen man:

- (a) die Biomasse auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm zerkleinert;
- (b) die verbleibende Biomasse als Medium für eine Fermentation nutzt; und
- (c) das Ethanol gewinnt;

wobei man die in der Biomasse vorliegenden Proteine und die gegebenenfalls vorliegende Kleie vor Schritt (b) oder (c) im wesentlichen abtrennt.

Die bei der Fermentation anfallende Schlempe kann zur Gewinnung eines hochwertigen Futtermittels verwendet werden. Die Klarphase der Schlempe kann zur Gewinnung von Methangas für die Energieerzeugung und im Rahmen einer Kraftwärme-Kopplung zur Strom- und Dampferzeugung für die Konversion genutzt werden.

Die Herstellung von Alkoholen durch Vergärung einer Biomasse ist eines der ältesten biotechnologischen Verfahren und wird u.a. für die Herstellung alkoholischer Getränke, wie Bier und Wein, eingesetzt. Auch die Herstellung von Alkohol, der industriell verwendet werden soll, durch Fermentation von Biomasse ist bereits seit langem bekannt. Derzeit werden entsprechende Alkohole, insbesondere Ethanol, als Ausgangsstoff für die Herstellung von pharmazeutischen Zusammensetzungen, kosmetischen Produkten, und einer Reihe von Chemikalien verwendet.

Auch die Verwendung von fermentativ gewonnenem Ethanol als Energieträger ist seit

langem bekannt, war jedoch aufgrund der im Vergleich zur Gewinnung von Erdöl höheren Verfahrenskosten in der Vergangenheit nicht gewerblich einsetzbar.

Durch die Verknappung der Erdölreserven und die im Kyoto Abkommen geforderte CO<sub>2</sub>-Reduzierung hat die mögliche Nutzung von Bioethanol als Energieträger neue Bedeutung erlangt. Es besteht daher ein großes Bedürfnis an verbesserten Verfahren zur Herstellung von Ethanol im großen Umfang aus Biomasse.

Im Stand der Technik sind zahlreiche Verfahren zur Herstellung von Alkoholen aus Biomasse bekannt. Da völlig unterschiedliche Biomassen als Ausgangsstoff für diese Verfahren verwendet werden, u.a. Zuckerrohr, Zuckerrübe, Getreide, etc. unterscheiden sich auch die Verfahren zur Gewinnung des Bioalkohols stark voneinander. Auch bei Verwendung identischer Ausgangsstoffe gibt es unterschiedliche Verfahrensführungen.

Die fermentativen Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Getreide umfassen alle Schritte, bei denen man:

- (a) das Getreide zerkleinert;
- (b) Mikroorganismen zu der Biomasse zugibt und eine Fermentation durchführt; und
- (c) das Ethanol von der Biomasse abtrennt.

Die Abtrennung des Ethanols erfolgt üblicherweise durch Destillation. Dabei fällt als Reststoff Schlempe an, die üblicherweise konzentriert und als Dünger oder nach Trocknung als proteinhaltiges Futtermittel verwendet wird.

Jeder einzelne dieser Verfahrensschritte ist im Stand der Technik in vielen verschiedenen Ausführungsformen beschrieben. Das derzeit im Stand der Technik übliche Verfahren wird beispielsweise in der DE 30 07 138 beschrieben. Dabei handelt es sich um ein Verfahren zur Herstellung von Ethanol durch Fermentierung eines kohlehydrathaltigen Substrats in einem oder mehreren Gärungsbehältern. Nach der

Fermentation wird die Gärflüssigkeit destilliert, rektifiziert und gegebenenfalls zu wasserfreiem Alkohol entwässert. Ebenfalls Stand der Technik ist es, die Strömung der Gärungsflüssigkeit in mindestens eine Hefekonzentratströmung und eine hefefreie Strömung aufzuteilen. Die Hefekonzentratströmung wird in den Gärungsbehälter zurückgeführt und die hefefreie Phase durch Destillation in eine ethanolreiche und eine Restströmung (Schlempe) aufgeteilt. Die Restströmung wird wiederum teilweise dem Gärungsbehälter zugeführt. Die Vorteile des in der DE 30 07 138 beschriebenen Verfahrens liegen darin, dass die hefefreie Strömung in einem einfachen Verdampfer unter Verwendung von einer oder wenigen Destillierstufen verarbeitet werden kann, indem man sie teilweise in eine ethanolreiche erste Dampfströmung und in eine erste flüssige Bodenströmung aufteilt. Die Dampfströmung wird einer Anlage zur Herstellung der gewünschten Ethanolqualität zugeführt. Die Bodenströmung wird teilweise in den Gärungsbehälter zurückgeführt und teilweise einer Abtriebeinheit zugeführt, in der dieser Teil in eine ethanolreiche zweite Dampfströmung und in eine zweite flüssige Bodenströmung, die ethanolarm ist, aufgeteilt wird.

Die ethanolreiche Dampfströmung kann zusammen mit der ersten ethanolreichen Dampfströmung für die Gewinnung von Ethanol beispielsweise in einer Rektifikationskolonne genutzt werden.

Da die Schlempe sehr proteinhaltig ist, wird sie üblicherweise als Futtermittel verwendet. Die Herstellung des Futtermittels, insbesondere die Trocknung der Schlempe bedeutet jedoch einen Energieaufwand, der etwa 50% der Energie umfasst, die das gesamte Herstellungsverfahren für Bioethanol benötigt.

Ferner kann aus der Schlempe Methangas gewonnen werden und der Reststoff anschließend als Dünger ausgebracht werden. ZA 80/5297 offenbart beispielsweise ein Verfahren, bei dem Ethanol aus Mais gewonnen und die Schlempe für die Gewinnung von Methan verwendet wird. Dafür wird Mais zerkleinert, Kleie und Proteine werden abtrennt und ein Substrat für die Fermentation wird gewonnen. Die bei durch Fermentation und Destillation erzeugte Schlempe soll für die Methangasgewinnung

verwendet werden. Die für die Zerkleinerung des Mais eingesetzte Vorrichtung, eine Hammermühle, liefert jedoch üblicherweise relativ große Bruchstücke mit einer Teilchengröße von etwa 2mm. Die Größe der Teilchen erschwert jedoch die Methanisierung.

Bei allen im Stand der Technik üblichen Verfahren stellt sich somit das Problem, dass für die Entgasung der Schlempe eine lange Verweilzeit benötigt wird, was dazu führt, dass die Anlage insgesamt apparativ sehr aufwendig wird, da ein sehr großes Volumen beansprucht wird. Es war demgemäß bislang nicht möglich Bioethanolanlagen zu konstruieren, die mehr als 300 m<sup>3</sup> Ethanol/Tag produzieren und eine Methanisierung der Schlempe für die Energiegewinnung nutzen.

Zur Lösung dieser Probleme werden erfindungsgemäß Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse bereitgestellt, die Schritte umfassen, bei denen man:

- (a) die Biomasse auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm zerkleinert;
- (b) die verbleibende Biomasse als Medium für eine Fermentation nutzt; und
- (c) das Ethanol gewinnt;

wobei man die in der Biomasse vorliegenden Proteine und die gegebenenfalls vorliegende Kleie vor Schritt (b) oder (c) im wesentlichen abtrennt.

Erfindungsgemäß konnte überraschend gezeigt werden, dass die Durchführung der Fermentation und/oder der Destillation unter Verwendung eines Substrates, das auf eine besonders kleine Teilchengröße vermahlen wurde und weder Kleie noch die Proteine der Biomasse enthält, wesentliche Vorteile bei der anschließenden Destillation und Aufarbeitung der Reststoffe aufweist. Aufgrund des geringeren Feststoffgehaltes und der geringeren Größe der verbleibenden Feststoffanteile in der alkoholischen Maische ergeben sich insbesondere Vorteile bei der Destillation und wesentliche Energie- und Zeitersparnis bei der Aufarbeitung der Schlempe nach der Destillation. Die Schlempe mit dem verringerten Feststoffanteil ist in besonderem



Maße für die Methangewinnung geeignet. Insbesondere wird die Verweilzeit der geklärten Schlempe in der Methanisierungsanlage im Vergleich zur Verweilzeit üblicher Schlempen erheblich reduziert, wodurch die Größe der Anlage ebenfalls erheblich reduziert werden kann.

Das Verfahren zur Herstellung von Ethanol erzeugt in einer bevorzugten Ausführungsform somit unmittelbar Strom und/oder Wärme, die für die Durchführung des Verfahrens (Destillation, Rektifikation und/oder Trocknung der Festphase der Schlempe) genutzt werden können.

Die aus den Proteinen, der Kleie und der Festphase der Schlempe durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältlichen Futtermittel sind qualitativ hochwertiger, als Futtermittel, die nach den im Stand der Technik bekannten Verfahren hergestellt werden, da das erfindungsgemäße Futtermittel eine schonende Wärmebehandlung durchlaufen hat.

Erfindungsgemäß weist das Verfahren besondere Vorteile bei der Herstellung von Ethanol ausgehend von Getreide als Biomasse auf. Dabei werden insbesondere Weizen, Roggen oder Triticale verwendet. Die Verwendung von Weizen ist besonders bevorzugt.

Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte im Detail erläutert:

Die Biomasse wird zunächst zerkleinert. Dafür können beliebige Verfahren zur Zerkleinerung von Biomassen verwendet werden, von denen eine Vielzahl im Stand der Technik bekannt ist. Die Biomasse kann insbesondere durch Vermahlung zerkleinert werden. Eine Zerkleinerung der Biomasse auf eine Korngröße von weniger als 1 mm ist bevorzugt, wobei eine Zerkleinerung auf eine Teilchengröße von weniger als 0,5 mm oder auf etwa 0,2 mm besonders bevorzugt ist. Die Teilchengröße kann dabei erfindungsgemäß durch Siebe gewählt werden.

Die Biomasse kann vor oder nach der Zerkleinerung durch Zugabe von Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser, einer Quellung unterzogen werden. Vorzugsweise wird die Biomasse in trockenem Zustand vermahlen, da sich die Kleie in diesem Zustand leichter abtrennen läßt. Beliebige im Stand der Technik übliche Verfahren zur Abtrennung von Kleie können zum Einsatz gelangen. Üblicherweise wird die Kleie durch Siebe abgetrennt.

Anschließend wird die Biomasse durch Zugabe von Enzymen verflüssigt und verzuckert, wodurch ein Substrat erhalten wird. Sofern eine weitere Verflüssigkeit erwünscht ist, kann man zusätzlich Wasser und andere Hilfsstoffe zugeben werden.

In den erfindungsgemäßen Verfahren werden ferner die Proteine aus dem Substrat entfernt, bevor die Fermentation initiiert wird. Die Proteine können nach im Stand der Technik bekannten Verfahren entfernt werden, wobei eine Ausfällung der Proteine durch Kühlung des Substrates besonders bevorzugt ist. Die ausgefallenen Proteine können anschließend einfach abgeschieden und getrocknet werden.

Auf diese Art und Weise erhält man ein Substrat mit einem hohen Anteil an Stärke und einem geringen Anteil Feststoff 3 bis 15%, vorzugsweise mit einem Feststoffanteil von 10-6 %. Die Bestimmung des Feststoffanteils erfolgt durch Zentrifugalschleudern. Aufgrund des geringen Feststoffgehaltes des Substrates ist es möglich eine besonders vorteilhafte Separation nach der Destillation durchzuführen.

Während der Fermentation werden die in der Biomasse vorliegenden Kohlenhydrate durch Zugabe von Mikroorganismen vergoren, wodurch Alkohol, insbesondere große Mengen von Ethanol gebildet wird. Üblicherweise werden Hefen für die Einleitung der Fermentation zugegeben. Die Fermentation wird nach im Stand der Technik üblichen Verfahren durchgeführt. Vorzugsweise werden Hefen für die Fermentation verwendet und die Fermentation kommt zum Erliegen, wenn im wesentlichen alle Kohlenhydrate vergoren sind.

Durch die Fermentation wird eine alkoholische Maische erhalten. Der in der Maische vorhandene Alkohol wird durch nach im Stand der Technik üblichen Verfahren destilliert und weiter gereinigt. Dabei können die bekannten Verfahren zur Destillation, Rektifikation und Entwässerung eingesetzt werden. Durch die erfindungsgemäße Abtrennung der Kleie und der Proteine entstehen in der Fermentation weniger Alkoholnebenbestandteile zum Ethanol. Dies führt zu einem qualitativ hochwertigen Rohalkohol und reduziert damit den Rektifikationsaufwand. Die Effizienz der erfindungsgemäßen Verfahren wird somit durch die Verwendung der alkoholischen Maische mit dem geringeren Feststoffanteil verbessert.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die durch Destillation erhaltene Schlempe anschließend gekühlt und in eine Fest- und Klarphase aufgeteilt werden. Nach der Destillation weist die Schlempe eine Temperatur von etwa 100°C und eine milchige Farbe auf. Nach der Abkühlung weist die Schlempe eine Temperatur von etwa 30-40°C auf und enthält Feststoffe, die während der Abkühlung ausfallen. Diese Feststoffe werden erfindungsgemäß abgetrennt, wofür beispielsweise ein Separator, vorzugsweise ein Tellerseparator, verwendet werden kann.

Die Festphase der Schlempe kann für die Herstellung von Futter- oder Düngemitteln verwendet werden. Die Klarphase weist einen Feststoffanteil von weniger als 10% auf, vorzugsweise von deutlich weniger als 10%, wie weniger als 5% oder 1%, wobei die Gewinnung einer Klarphase mit weniger als 0,5% Feststoffanteil besonders bevorzugt ist:



Diese Klarphase kann nach im Stand der Technik üblichen Verfahren zur Gewinnung von Methan verwendet werden. Die Verwendung einer Klarphase mit geringem Feststoffanteil in diesem Verfahrensschritt weist den besonderen Vorteil auf, daß die Methanisierung der Klarphase der Schlempe in einem sogenannten Hochleistungsreaktor durchgeführt werden kann. Ein entsprechender Reaktor arbeitet mit Kügelchen üblicherweise von 1 bis 2 mm Durchmesser in denen Methanbakterien immobilisiert sind. Dadurch wird eine mehrfache, vorzugsweise eine mindestens fünffache Raumbelastung ermöglicht. Die Kügelchen sind üblicherweise schwammartig und aus Kalk. Durch die Verwendung dieser Kügelchen wird der Wirkungsgrad des Reaktors gegenüber herkömmlichen Reaktoren wesentlich erhöht. Die Verwendung dieser Reaktoren ermöglicht erstmals die Konstruktion besonders vorteilhafter Bioethanolanlagen, die eine Methanisierung der Schlempe umfassen und eine sehr große Tageskapazität aufweisen, insbesondere die Konstruktion von Anlagen mit einer Tageskapazität von mehr als 300, vorzugsweise mehr als 500m<sup>3</sup> Ethanol/Tag.

Dem Reaktor kann ein Misch- und Ausgleichsbehälter vorgeschaltet werden, der eine qualitativ und quantitativ gleichmäßige Zufuhr von Klarphase an die Methanisierungsanlage gewährleistet. Mittels Umpumpen wird ein intensiver Flüssigkeitsaustausch zwischen beiden Gefäßen erreicht.

Im unteren und mittleren Teil des Reaktors können die Methanbakterienkügelchen durch das aufströmende Gas und zusätzlich durch Umpumpen in Schwebelage gehalten werden. So wird eine intensive Durchmischung mit dem Reaktionsgut erreicht, wodurch der Wirkungsgrad weiter erhöht wird. Im oberen Teil des Reaktors befinden sich vorzugsweise Abscheider, welche die immobilisierten Methanbakterien-Kalkkügelchen im Reaktor zurückhalten.

Die in dem Substrat enthaltenen Feststoffanteile werden im Flüssigkeitsstrom mitgerissen und fließen nach der Abscheidung mit dem gereinigten Substrat aus

System. Bei einem höheren Feststoffanteil würde eine Anreicherung der Feststoffe in dem Methanisierungsreaktor erfolgen, was einen Bewegungsstillstand der immobilisierten Methanbakterien und ein Erliegen des Verfahrens zur Folge hätte. Umfangreiche Versuche in einer Technikumanlage haben gezeigt, dass eine besonders vorteilhafte Verfahrensführung in diesem Schritt möglich ist, wenn der Feststoffgehalt der Klarphase der Schlempe 0,5% oder weniger beträgt.

Das Methan wird anschließend nach im Stand der Technik bekannten Verfahren verstromt oder verheizt, wodurch Strom und Prozesswärme erzeugt wird, die den Energiebedarf der Konversion deckt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform betrifft die Erfindung demgemäss Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Getreide, die Schritte umfassen, bei denen man:

- a) das Getreide auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm vermahlt und die Kleie in einer Siebanlage vom Mehl trennt;
- b) das Mehl in herkömmlicher Weise unter Zugabe von Wasser enzymatisch verflüssigt und verzuckert, wodurch eine Maische erhalten wird;
- c) die in der Maische enthaltenen Proteine durch Abkühlung im wesentlichen ausfällt, absiebt und trocknet, wodurch die Proteine und ein Substrat erhalten werden;
- d) das Substrat in herkömmlicher Weise fermentiert und destilliert, wodurch Ethanol und eine Schlempe erhalten werden;
- e) die Schlempe in Fest- und Klarphase, wobei eine Klarphase mit einem Feststoffanteil von weniger als 1% erhalten wird; und

- f) aus der Klarphase in einem Hochleistungsmethanreaktor Methan gewinnt.

Die bei der Auftrennung der Schlempe erhaltene Festphase kann mit den in dem Verfahren zuvor gewonnenen Festphasen, nämlich der Proteine und der Kleie, vermischt werden. Erfindungsgemäß ist es bevorzugt, dass die so erhaltene Mischung anschließend temperaturschonend getrocknet wird. Dadurch wird ein Futtermittel erhalten, das sich im Vergleich zu den Futtermitteln, die bei den im Stand der Technik bekannten Verfahren zur Herstellung von Alkohol aus Biomasse gewonnen wurden, durch eine bessere Qualität auszeichnet.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung wird in Figur 1 illustriert. Figur 1 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren wie es derzeit in einer Versuchsanlage durchgeführt wird. Aus der obigen Beschreibung sollte jedoch klar werden, dass nicht alle Schritte, die in Figur 1 dargestellt sind, für die Erzielung der erfindungsgemäßen Vorteile notwendig sind.

Wie in Figur 1 gezeigt, wird Getreide aus einem Getreidelager gebracht. Anschließend wird das Getreide vermahlen und die Kleie durch Abscheidung entfernt.

Durch Zugabe von Enzymen, Hilfsstoffen und Wasser wird das Getreide verflüssigt und anschließend verzuckert. Die in dem verzuckerten Substrat vorliegenden Proteine werden durch Abkühlung ausgefällt und abgeschieden. Durch dieses Vorgehen wird ein Substrat erhalten, das die gesamte Stärke des Getreides enthält. Die nicht alkoholbildenden Bestandteile sind somit vor dem Fermentationsprozess separiert.

Dieses Substrat dient als Medium für eine Fermentation. Dafür werden Hefe, Nährstoffe, wie Amonsulfat und Bittersalz, Luft und Wasser zugegeben.

Die Fermentation erzeugt eine alkoholische Maische, die nach im Stand der Technik

üblichen Verfahren in einer Destillation für die Gewinnung von Rohalkohol eingesetzt wird. Bei der Destillation entsteht Rohalkohol, welcher durch Rektifikation und Entwässerung zu Bioethanol oder Neutralalkohol aufgereinigt wird. Die Reinheit des so erhaltenen Produktes beträgt zwischen 96 und 99,9 Vol.-%. Soweit dabei Fuselöle, Lutterwasser, Vor- und Nachlauf anfallen, können diese für die Gewinnung des Methans eingesetzt werden.

Als Nebenprodukt der Destillation entsteht eine Schlempe, die zunächst abgekühlt und dann in Fest- und Flüssigphase aufgetrennt wird. Die Flüssigphase wird in Methanisierungsanlagen für die Erzeugung von Methan eingeführt. Das dabei gewonnene Methan wird verstromt und es wird Prozeßwärme gewonnen.

Die Festphase, die bei der Auftrennung der Schlempe erhalten wird, wird mit der Kleie und den Proteinen vermischt und getrocknet. Dadurch wird ein proteinhaltiges Futtermittel erhalten, das sehr gut für die Fütterung von Tieren, insbesondere Kühen, Schweinen, Pferden, etc. verwendet werden kann.

Eine Versuchsanlage, die der in Figur 1 dargestellten Anlage entspricht, ist seit Monaten in Betrieb und wurde chargenweise für die Erzeugung von Ethanol verwendet, wobei jeweils 100 l Ethanol aus 170 kg Stärke erhalten wurden. Aus diesen Versuchen wurde die folgende Energiebilanz für das erfindungsgemäße Verfahren erhalten:

#### 1. Mengenbilanz:

Maische enthält ca. 10 Vol.% Ethanol. Daher ergibt sich für die Maische folgende Mengenbilanz:

➤ Maische:	10 Vol.-%-Ethanol	10m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Ethanol
➤ Ethanol (rein)		1m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Ethanol
➤ Schlempe		9 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Ethanol

## 2. Energiegehalte der methanisierbaren Klarphase der Schlempe:

### 2.1 Inhalt der Klarphase:

In diesem Abschnitt wird der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) pro  $\text{m}^3$  Ethanol für die Klarphase der erfindungsgemäßen Schlempe beschrieben und der Anteil, der für die Energiegewinnung mittels Methanisierung tatsächlich zur Verfügung steht:

- Belastung je  $\text{m}^3$  Abwasser 40 kg CSB/ $\text{m}^3$ ;
- Biotechnische Verfügbarkeit 80%
- Nettobelastung je  $\text{m}^3$  Abwasser 32 kg CSB/ $\text{m}^3$

Somit stehen in der Klarphase Kohlenhydrate für die Methanisierung zur Verfügung, die einen chemischen Sauerstoffbedarf von 32 kg/ $\text{m}^3$  Abwasser aufweisen. Die Klarphase weist einen Energiegehalt von 100 kWh/ $\text{m}^3$  Abwasser auf.

### 2.2 Daraus ergibt sich die folgende Ethanol-bezogene Energiebilanz:

Schlempen normativ =  $9 \text{ m}^3 \text{ Schlempe/m}^3 \text{ Ethanol} \times \text{Energiegehalt} = 900 \text{ kWh/m}^3 \text{ Ethanol}$ .

Entspricht 3600 MJ/ $\text{m}^3$  Ethanol.

## 3. Das erfindungsgemäße Verfahren weist demgegenüber einen Energiebedarf auf, der sich zusammensetzt aus:

### 3.1 Energieverbrauch Destillation/Rektifikation:

- Dampfbedarf:  $1800 \text{ kg/m}^3 \text{ Ethanol} \times 2,02 \text{ MJ/kg} = 3636 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$  (geschätzt);
- Strombedarf:  $302 \text{ kWh/m}^3 \times 3,6 \text{ MJ/kg} = 1087 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ ; und

Energieverbrauch insgesamt = 4723 MJ/ $\text{m}^3$  Ethanol.



### 3.2 Energieverbrauch der Schlämpetrocknung:

- Dampfbedarf:  $1250 \text{ kg/m}^3 \text{ Ethanol} \times 2,02 \text{ MJ/kg} = 2525 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ ;
- Strombedarf:  $50 \text{ kWh/m}^3 \text{ Ethanol} \times 3,6 \text{ MJ/kg} = 180 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ .

Für die Schlämpetrocknung ergibt sich daher als Energieverbrauch insgesamt  $2705 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$  ergibt.

### 3.3 Als Energieverbrauch insgesamt (3.1 und 3.2) ergibt sich somit ein:

- Dampfbedarf von  $3050 \text{ kg/m}^3 \text{ Ethanol} \times 2,02 \text{ MJ/kg} = 6161 \text{ MJ/kg}$ ; und
- Stromverbrauch von  $352 \text{ kWh/m}^3 \text{ Ethanol} \times 3,6 \text{ MJ/kg} = 1267 \text{ MJ/kg}$ .

Insgesamt somit ein Energieverbrauch von  $7428 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$  entspricht.

### 4. Die Energiebilanz herkömmlicher Verfahren ergibt demgegenüber:

- Dampfbedarf für die Destillation/Rektifikation, Absolutierung:  $2200 \text{ kg/m}^3 \text{ Ethanol} \times 2,02 \text{ MJ/kg} = 4400 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ ;
- Strombedarf für die Destillation/Rektifikation, Absolutierung:  $302 \text{ kWh/m}^3 \text{ Ethanol} \times 3,6 \text{ MJ/kg} = 1087 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ ;
- Dampfbedarf für die Trocknung der Getreideschlempe:  $3100 \text{ kg/m}^3 \text{ Ethanol} \times 2,02 \text{ MJ/kg} = 6262 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ ,
- Strombedarf für die Trocknung der Getreideschlempe:  $178 \text{ kWh/m}^3 \text{ Ethanol} \times 3,6 \text{ MJ/kWh} = 641 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ .

Dies entspricht einem Gesamtenergieverbrauch von  $12434 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$ .

5. Es zeigt sich somit, daß das erfindungsgemäße Verfahren  $5006 \text{ MJ/m}^3 \text{ Ethanol}$  weniger Energie verbraucht als die im Stand der Technik üblichen Verfahren. Dies entspricht einer Reduzierung des Energieverbrauchs um 40%!

Rechnet man ferner die Energiegewinnung durch die Methanisierung hinzu (3600 MJ/m<sup>3</sup> Ethanol) ergibt sich eine Verbesserung der Energiebilanz insgesamt um 69%. Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt mit anderen Worten lediglich etwa 30% der Energie, die für die Durchführung herkömmlicher Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse benötigt werden. Dies belegt eindrucksvoll die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von Bioethanol.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse, Schritte umfassend, bei denen man:
  - (a) die Biomasse auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm zerkleinert;
  - (b) die verbleibende Biomasse als Medium für eine Fermentation nutzt; und
  - (c) das Ethanol gewinnt;

wobei man die in der Biomasse vorliegenden Proteine und die gegebenenfalls vorliegende Kleie vor Schritt (b) oder (c) im wesentlichen abtrennt

2. Verfahren gemäß irgendeinem der Ansprüche 1-3, bei dem man die Biomasse in (a) auf eine Teilchengröße von weniger als 0,5mm, vorzugsweise auf eine Teilchengröße von 0,2 mm zerkleinert.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem man als Biomasse Getreidekörner oder Kartoffeln, insbesondere Weizen, Roggen oder Triticale verwendet.
4. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die Kleie nach der Zerkleinerung durch Abscheidung abtrennt.
5. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die Biomasse nach dem Abscheiden der Kleie durch Zugabe von Enzymen verzuckert.
6. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die in dem verzuckerten Substrat vorliegenden Proteine durch Kühlung ausfällt.
7. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die ausgefallenen Proteine abscheidet.

8. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man durch Abtrennung der Kleie und der Proteine ein Substrat mit einem Feststoffgehalt von 3 bis 15%, vorzugsweise von 6 bis 10% erhält.
9. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die Fermentation nach Abscheidung der Proteine durch Zugabe von Hefen einleitet.
10. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die durch Fermentation gewonnene alkoholische Maische destilliert wird, um Rohethanol zu gewinnen.
11. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man das Rohethanol rektifiziert und gegebenenfalls entwässert, um Bioethanol, insbesondere Neutraethanol zu gewinnen.
12. Verfahren gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man die Schlempe für eine Methanisierung in Fest- und Klarphase auftrennt.
13. Verfahren zur Herstellung von Ethanol gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, Schritte umfassend, bei denen man:
  - a) das Getreide auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm vermahlt und die Kleie in einer Siebanlage vom Mehl trennt;
  - b) das Mehl in herkömmlicher Weise unter Zugabe von Wasser enzymatisch verflüssigt und verzuckert, wodurch eine Maische erhalten wird;
  - c) die in der Maische enthaltenen Proteine durch Abkühlung im wesentlichen ausfällt, absiebt und trocknet, wodurch die Proteine und ein

Substrat erhalten werden;

- d) das Substrat in herkömmlicher Weise fermentiert und destilliert, wodurch Ethanol und eine Schlempe erhalten werden;
- e) die Schlempe in Fest- und Klarphase, wobei eine Klarphase mit einem Feststoffanteil von weniger als 1% erhalten wird; und
- f) aus der Klarphase in einem Hochleistungsmethanreaktor Methan gewinnt.

14. Verfahren zur Herstellung von Ethanol gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man einen Hochleistungsmethanreaktor einsetzt, der Kügelchen mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm umfaßt, in denen Methanbakterien immobilisiert sind.
15. Verfahren zur Herstellung von Ethanol gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Immobilisierung der Methanbakterien auf Kügelchen in dem Reaktor für die Methanisierung die Raumbelastung erhöht und vorzugsweise eine mindestens fünffache Raumbelastung ermöglicht.
16. Verfahren zur Herstellung von Ethanol gemäß irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, bei dem man mehr als  $300\text{m}^3$ , vorzugsweise mehr als  $500\text{m}^3$  Ethanol/Tag produziert.
17. Verfahren zur Herstellung von Methan, umfassend ein Verfahren zur Herstellung von Ethanol und einer alkoholischen Schlempe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16.
18. Verfahren zur Herstellung von Strom oder Wärme, umfassend ein Verfahren zur Herstellung von Ethanol und einer alkoholischen Schlempe gemäß einem der



Ansprüche 1 bis 17, die Methangewinnung aus der Schlempe und das Verstromen und/oder Verheizen des Methans und/oder des Ethanols.

19. Verwendung einer alkoholischen Schlempe mit einem Feststoffgehalt von weniger als 10 Gew.-%, vorzugsweise weniger als 5 Gew.-% oder 1 Gew.-% und besonders bevorzugt weniger als 0,5 Gew.-%, zur Herstellung von Methan, Strom und/oder Wärme.
20. Verwendung gemäß Anspruch 19, bei der man für die Herstellung von Methan einen Hochleistungsmethanreaktor einsetzt, der Kügelchen mit einem Durchmesser von 1 bis 2 mm umfaßt, in denen Methanbakterien immobilisiert sind.
21. Verwendung gemäß Anspruch 19 oder 20, bei der die Immobilisierung der Methanbakterien auf Kügelchen in dem Reaktor für die Methanisierung die Raumbelastung erhöht und vorzugsweise eine mindestens fünffache Raumbelastung ermöglicht.
22. Verfahren zur Herstellung eines Futtermittels, bei dem man Kleie, Protein und die aus der Schlempe gewonnene feste Phase gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16 isoliert, miteinander vermischt und trocknet.
23. Ethanol, erhältlich durch ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16.
24. Futtermittel, erhältlich durch ein Verfahren gemäß Anspruch 22.
25. Methan, erhältlich durch ein Verfahren gemäß Anspruch 17.

### Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse, die Schritte umfassen, bei denen man:

- (d) die Biomasse auf eine Teilchengröße von weniger als 1mm zerkleinert;
- (e) die verbleibende Biomasse als Medium für eine Fermentation nutzt; und
- (f) das Ethanol gewinnt;

wobei man die in der Biomasse vorliegenden Proteine und die gegebenenfalls vorliegende Kleie vor Schritt (b) oder (c) im wesentlichen abtrennt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner Verfahren zur Herstellung von Methan und/oder Futtermitteln, die obige Schritte umfassen.

**Blockschema Ethanolherstellung aus Weizen :**  
**KWST - Bioethanol - Bioenergie - Prozess**  
 Bezug: m³ r.A.

